

①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Pat ntschrift
⑪ DE 31 12 122 C2

⑤ Int. Cl. 4:
G 01 M 15/00
G 01 L 23/22

⑲ Aktenzeichen: P 31 12 122.5-52
⑳ Anmeldetag: 27. 3. 81
㉑ Offenlegungstag: 7. 10. 82
㉒ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 12. 10. 89

DE 31 12 122 C2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

㉓ Patentinhaber:
Robert Bosch GmbH, 7000 Stuttgart, DE

㉔ Erfinder:
Maurer, Franz, Dr.-Ing., 7141 Schwieberdingen, DE

㉕ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE-OS 26 09 152
US 40 07 630

Krautkrämer, J. + H. (1980) Werkstoffprfg. m.
Ultraschall S. 287/288;

Woodward, B: Identification of acoustic emission
source mechanisms by energy spectrum Z.

Ultrasonics, Nov. 76, S. 249-255;

Grabec, I.C. Application of correlation techniques for
localization of acoustic sources Z. Ultrasonics,
May 78, S. 111-115;

㉖ Verfahren und Vorrichtung zur Fahrzeugdiagnose

DE 31 12 122 C2

FIG. 1

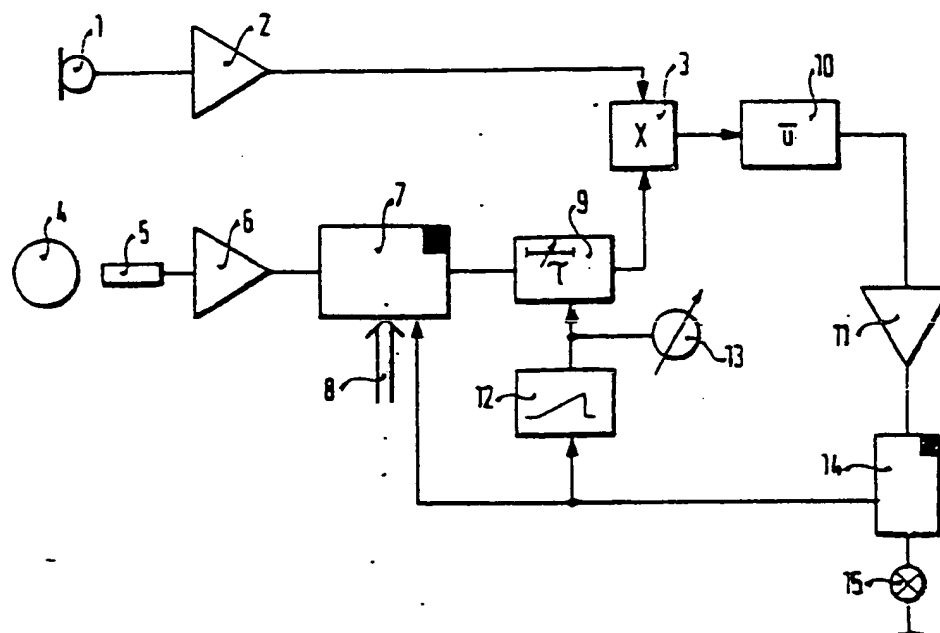
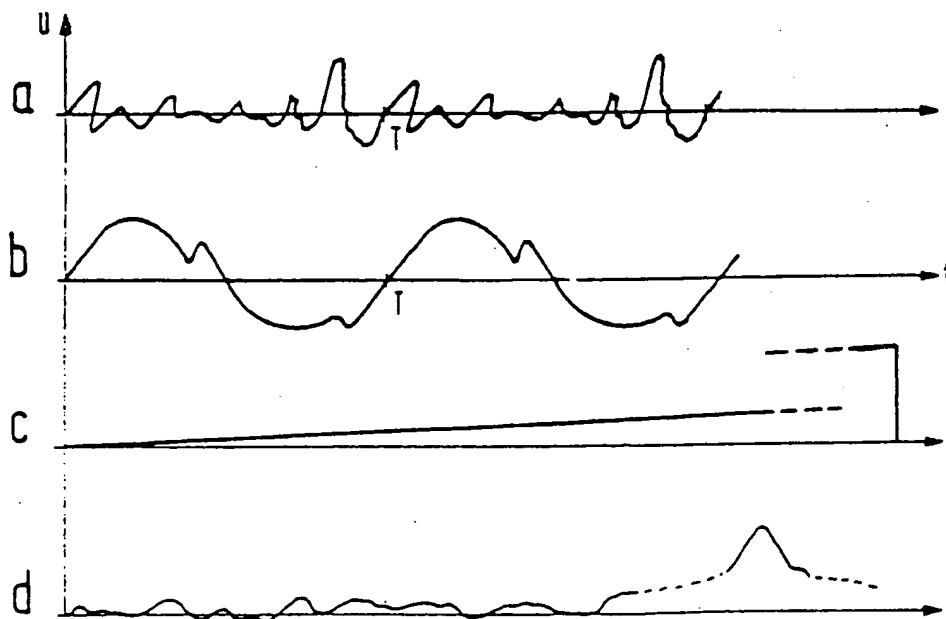


FIG. 2



Die Erfindung geht aus von einem Verfahren nach der Gattung des Hauptanspruchs.

Aus dem Fachbuch "Werkstoffprüfung mit Ultraschall", Krautkrämer J. + H., S. 287—288, Springer-Verlag, 1980 sowie aus der Veröffentlichung "Identification of acoustic emission source mechanisms by energy spectrum", B. Woodward, Ultrasonics, Nov. 1976, S. 249—255 sind jeweils Verfahren zur Werkstoffprüfung bekannt, die die spontane Emission von Schallsignalen aus den zu prüfenden Werkstoffen verwenden. Es werden die Amplitude und/oder die Frequenzspektren nach Besonderheiten untersucht, die Rückschlüsse auf mögliche Fehler zulassen.

Aus der DE-OS 26 09 152 ist ein Verfahren zum Entdecken sich anbahnenden Ermüdungsschäden in einem Metallteil bekannt, das im Gebrauch sich zyklisch wiederholenden Ermüdungsbelastungen ausgesetzt ist. Das zu untersuchende Metallteil wird einem Test unterworfen, bei dem es einer Belastung ausgesetzt wird, die wenigstens gleich der Betriebsbelastung des Teils ist. Die akustischen Emissionen während des Tests werden ermittelt und mit den Emissionen verglichen, die das wieder eingebaute Teil während des Betriebs abgibt. Der Belastungstest des ausgebauten Teils wird in vorgebbaren zeitlichen Abständen wiederholt, um stets aktuelle Referenzwerte bereitzustellen.

In der Veröffentlichung "Application of correlation techniques for localization of acoustic sources", I. Grabec, Ultrasonics, Mai 1978, S. 110—115 ist ein Verfahren zum Bestimmen des Ortes von Schallwellen in einem Material beschrieben, das auf der Messung von Korrelationsfunktionen der Schallsignale basiert. Das Verfahren ist nur für zeitlich unkorrelierte Emissionen geeignet, die von einer örtlich begrenzten Quelle in einem großen System ohne Schallreflexionen ausgehen.

Messungen an Schaltstörquellen unter Anwendung der Korrelationstechnik sind auch aus dem Fachbuch "Korrelationselektronik", F. H. Lange, VEB-Verlag Technik, Berlin, 2. Aufl., S. 290 ff. bekannt. Es werden zwei Mikrophone verwendet, wobei ein Mikrofon an einer Schallquelle angebracht ist, während ein weiteres Mikrofon den Schall im Raum mißt. Hierdurch läßt sich der Geräuschanteil einer Geräuschquelle bei mehreren vorhandenen Geräuschquellen feststellen. Für die Fahrzeugdiagnose ist dieses Verfahren nicht anwendbar, da nicht eine Analyse der Geräuschanalyse der Geräuschanteile erfolgen soll, sondern nur Gefahren anzeigende Geräuschanteile herausgefiltert werden sollen. Eine Korrelationsanalyse mit zwei Meßmikrophonen ist daher nicht möglich.

Aus der US-PS 40 07 630 ist eine Vorrichtung zum Erkennen von Schäden an rotierenden Teilen bekannt, die eine Auswertung der Schallemissionen des rotierenden Teils vornimmt. Die beschriebene Vorrichtung setzt voraus, daß die für die Beschädigung charakteristische Schallemission nur kurzzeitig ein oder mehrmals während der Umdrehung des Teils auftritt. Diese Vorrichtung eignet sich nur zur Erkennung von speziellen Fehlern, deren kurzzeitige Emissionsspektren deutlich oberhalb des über der Zeit gemittelten Grundspektrums des rotierenden Teils liegen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Fahrzeugdiagnose an-

zugeben, die ohne Eingriff in die Brennkraftmaschine auf einfache Weise die Erkennung unterschiedlichster Fehler ermöglichen. Diese Aufgabe wird mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 bzw. 6 gelöst.

Vorteile der Erfindung

Das erfindungsgemäße Verfahren weist den Vorteil auf, daß mit der Bildung von Kreuzkorrelationen des mit einem Mikrophon aufgenommenen Geräusches der Brennkraftmaschine mit einem mit der Brennkraftmaschine synchronisierten und über ein Verzögerungsglied geleiteten Fehlersignal eine Fahrzeugdiagnose auf Fehler hin durchführbar ist, wobei beliebig viele Fehlersignale beispielsweise in Speichern ablegbar sind. Die Wartung von Brennkraftmaschinen ist daher besonders einfach und kann auch im laufenden Betrieb erfolgen. Des weiteren ist auch eine kontinuierliche Überwachung möglich.

Durch die in den Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des im Hauptanspruch angegebenen Verfahrens möglich. Durch rampenförmiges, langsames Ansteigen der Verzögerungszeit ist es möglich, unterschiedliche Korrelationswerte zu erzeugen, die es ermöglichen, phasenabhängige Fehler zu erkennen. Weiterhin ist es günstig, die Periode der Rampenfunktion sehr viel größer als den periodischen Vorgang der Kraftmaschine zu gestalten. Durch diese Maßnahme ist die Verzögerungszeit bezüglich mehrerer periodischer Vorgänge der Kraftmaschine quasi konstant und ermöglicht eine sichere Auswertung. Die Korrelationsfunktion und/oder der Spitzenwert der Korrelation werden vorteilhafterweise zur Auswertung angezeigt oder können direkt zum Eingriff in die Maschine verwendet werden. Um mehrere Fehlermöglichkeiten zu erfassen, ist es vorteilhaft, eine Vielzahl von Fehlersignalen abrufbar zu speichern.

Zur Speicherung ist es vorteilhaft, eine Speichervorrichtung vorzusehen, die zumindest ein Fehlersignal enthält, wobei die Speichervorrichtung von periodisch wiederkehrenden Signalen der Kraftmaschine getriggert ist. Dies ermöglicht eine besonders einfache Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens. Als Speichervorrichtung sind digitale Halbleiterspeicher besonders geeignet. Als periodisch wiederkehrende Trigger-Signale eignen sich besonders Marken an der Abtriebswelle der Kraftmaschine. Zur Bildung der Korrelation wird das vom Trigger-Signal gespeicherte Störgeräusch verzögert und zusammen mit einem vom Mikrophon aufgenommenen Geräusch mittels eines Multiplizierers und eines Mittelwertbildners korreliert. Vorteilhaft ist es, wenn die Speichervorrichtung mit der rampenförmigen Verzögerung kombiniert ist. Die Auswertung der Korrelationsfunktion erfolgt einfach durch einen Komparator, der beim Überschreiten eines Schwellwertes anspricht. Zur Bestimmung der Phase ist es vorteilhaft, beim Überschreiten des Schwellwerts in einer Speichervorrichtung den Wert der Verzögerung abzuspeichern.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigt

Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Fig. 2 Diagramme zur Erläuterung des Ausführungsbeispiels.

Fig. 1 zeigt ein Mikrophon 1, das beispielsweise am Gehäuse einer Brennkraftmaschine angebracht ist.

Das vom Mikrophon 1 aufgenommene Geräusch-

pektrum wird von einem Verstärker 2 verstärkt und gelangt zu einem Eingang eines Multiplizierers 3. Die nicht dargestellte Brennkraftmaschine weist eine Kurbelwelle 4 auf, an der beispielsweise eine obere Totpunktmarke angebracht ist. An der Kurbelwelle 4 ist ein Geber 5 angeordnet, der beim Passieren der Marke ein Signal abgibt, das von einem Verstärker 6 verstärkt wird. Der Ausgang des Verstärkers 6 führt zum Trigger-
 eingang einer Speichereinheit 7. Von der Speichereinheit 7 sind mittels einer Datenleitung 8 jeweils eine periodische Funktion abrufbar. Die periodische Funktion gelangt über den Ausgang des Speichergliedes 7 zu einem veränderbaren Verzögerungsglied 9, dessen Ausgang wiederum mit dem Multiplizierer 3 in Verbindung steht. Der Ausgang des Multiplizierers 3 führt zu einem Mittelwertbildner 10, an dessen Ausgang ein Komparator 11 angeschlossen ist, der dann ein Signal abgibt, wenn ein Korrelationssignal einen vorgegebenen Schwellwert überschreitet. Das Ausgangssignal wird in einem Speicher 14 gespeichert und führt beispielsweise zum Aufleuchten der Lampe 15. Mittels einer Steuerleitung vom Speicherglied 14 zum Speicherglied 7 kann der weitere Ablauf gestoppt werden. Die Verzögerungszeit wirkt über eine Rampenfunktion vom Rampengenerator 12 auf das Verzögerungsglied 9 ein. Beim Auftreten eines Signales am Ausgang des Komparators 11 gelangt dieses ebenfalls zum Rampengenerator 12 und bewirkt, daß die augenblickliche Spannung zur Steuerung des Verzögerungsgliedes 9 festgehalten wird. Eine Anzeigevorrichtung 13 dient zur Anzeige der so ermittelten Verzögerungszeit.

Soll nun beispielsweise eine Diagnose über eine Brennkraftmaschine in einem Kraftfahrzeug angefertigt werden, so wird das Mikrophon 1 im Motorraum des Kraftfahrzeugs untergebracht. Das durch den Verstärker 2 verstärkte Signal bildet die erste Eingangsgröße für den Multiplizierer 3. Im Speicher 7, der als Analog-Speicher oder Digital-Speicher ausgebildet sein kann, sind Fehlerfunktionen gespeichert. Wegen der hohen Speicherdichte sind digitale Speicher besonders vorteilhaft. Die Fehlerfunktion ist so ausgebildet, daß sie jeweils eine bestimmte Störung am Motor simuliert und ein charakteristisches Störmuster wiedergibt. Über die Datenleitung 8 sind verschiedene Fehlerfunktionen anwählbar, so daß verschiedene genau definierte Störfälle diagnostiziert werden können. Um eine Korrelation zu ermöglichen, ist es notwendig, die im Speicherglied 7 abgelegte Störfunktion mit dem vom Mikrophon 1 aufgenommenen periodischen Signal zu synchronisieren. Dies geschieht durch die Kurbelwelle 4 der Brennkraftmaschine, wo beispielsweise mittels des Gebers 5 die obere Totpunktmarke, die an der Kurbelwelle gekennzeichnet ist, aufgenommen wird. Dieses Signal wird mit dem Verstärker 6 verstärkt und dient zur Triggerung des Speichergliedes 7. Die Störfunktion wird durch das Verzögerungsglied 9 in ihrer Phase verzögert und ebenfalls dem Multiplizierer 3 zugeführt.

Fig. 2a zeigt als Beispiel ein vom Mikrophon 1 aufgenommenes Signal, das dem Multiplizierer 3 zugeführt wird, während Fig. 2b eine periodische Fehlerfunktion darstellt, welche im Speicherglied 7 abgelegt ist und verzögert ebenfalls zum Multiplizierer 3 gelangt. Nach der Mittelwertbildung durch den Mittelwertbildner 10 entsteht ein Wert der Korrelationsfunktion.

Das Wesen der Korrelationsbildung ist in der eingangs aufgeführten Literaturstelle ausführlich erläutert, so daß sich ein näheres Eingehen erübrigt. Es sei nur gesagt, daß am Ausgang des Mittelwertbildners 10 ein

Korrelationsspitzenwert entsprechend Fig. 2d auftritt, wenn die Fehlerfunktion nach Fig. 2b in dem Signalgemisch nach Fig. 2a enthalten ist. Tritt ein solcher Impuls auf, so wird durch den Komparator 11 der Speicher 14 gesetzt, und die Lampe 15 zeigt den Fehler an. Hierbei ist zu beachten, daß die Anzeige um so zuverlässiger wird, je mehr Perioden abgewartet werden. Der Wert der Kreuzkorrelationsfunktion am Ausgang des Mittelwertbildners 10 gibt den Grad der statistischen Ähnlichkeit zwischen dem synchronisierten synthetischen Signal vom Speicherglied 7 und dem periodischen Meßsignal vom Mikrophon 1 an. Je nach Höhe des Schwellwertes, der durch den Komparator 11 festgelegt ist, lassen sich daher auch Fehler anzeigen, wenn die Fehlerfunktion nicht exakt in dem aufgenommenen Signal enthalten ist. Es ist auch in bestimmten Fällen vorteilhaft, in Abhängigkeit von der durch die Datenleitung 8 eingestellten Fehlerfunktion den Schwellwert des Komparators 11 zu verändern. Typische Anwendungsbeispiele für diese Schaltungsanordnung können die Meldung von Spiel in den Pleuellagern, Spiel in den Kurbelwellenlagern, Spiel im Ventiltrieb, Gleichmäßigkeit der Verbrennung in den Zylindern, Klopfen, Zündaussetzern, Kolbenkippen oder ähnliche Störungen am Motor sein.

Da die vom Mikrophon 1 aufgenommenen fehlerhaften Signale pro Umdrehung des Motors mehrmals und/oder in verschiedenen Phasenlagen auftreten können, ist es günstig, die Verzögerungszeit variabel zu gestalten. Dies geschieht durch eine rampenförmig langsam ansteigende Laufzeit. Diese Laufzeit kann mittels einer veränderbaren Spannung erzeugt werden, die von dem Rampengenerator 12 erzeugt wird. Eine solche rampenförmige Spannung zur Steuerung des Verzögerungsgliedes 9 ist in Fig. 2c dargestellt. Aufgrund des Wesens der Korrelation ist es notwendig, daß der rampenförmige Anstieg der Laufzeit eine sehr viel größere Periodendauer als der untersuchende Motor haben muß. Wird beim Auftreten der Kreuzkorrelationsspitze das augenblicklich anliegende Signal am Verzögerungsglied 9 eingefroren und durch das Anzeigeelement 13 gleichzeitig angezeigt, so kann aufgrund des Phasenwinkels Rückschluß gezogen werden, in welchem Zylinder beispielsweise ein Klopfen auftritt oder wo Zündaussetzer vorhanden waren.

Die gesamte Schaltungsanordnung ist vorteilhaft mittels Mikroprozessoren, insbesondere Einchip-Mikroprozessoren mit integriertem Speicher, ausführbar. Insbesondere die Rechenoperationen und die Speicherfunktionen sind in dem Mikroprozessor unterzubringen. Das Diagnosegerät hat den Vorteil, daß abgesehen von der Synchronisierung und dem Mikrophon keine Kabel an das Kraftfahrzeug oder die zu untersuchende Kraftmaschine zu führen sind, so daß die Diagnose sehr einfach ohne weitere Eingriffe in die Maschine vorstatten gehen kann. Ein vollautomatischer Prüfablauf ist möglich, wenn über die Datenleitung 8 automatisch nach einer gewissen Zeit das nächste Fehlersignal aufgeschaltet wird. Zweckmäßigerweise erfolgt dies beim Abfallen der Rampe, die die Verzögerungszeit für das Verzögerungsglied 9 vorgibt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Diagnose bei periodisch arbeitenden Kraftmaschinen, mit einem Mikrophon zur Aufnahme der Geräusche der Kraftmaschine, einem Verzögerungsglied und mit Vorrichtungen zur

Bildung der Kreuzkorrelationsfunktion, dadurch gekennzeichnet, daß ein mit der periodisch arbeitenden Kraftmaschine synchronisiertes Fehlersignal gebildet wird, daß das Fehlersignal über ein veränderbares Verzögerungsglied (9) geleitet wird und daraus zusammen mit dem mit dem Mikrophon (1) aufgenommenen Signal die Kreuzkorrelationsfunktion gebildet wird. 5

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Verzögerungszeit rampenförmig ansteigt. 10

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Periode der Rampenfunktion sehr viel größer als der periodische Vorgang der Kraftmaschine ist. 15

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß eine Korrelationsfunktion und/oder das Auftreten einer Korrelationspitze angezeigt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß eine Vielzahl von Fehlersignalen abgespeichert und abrufbar sind. 20

6. Vorrichtung zur Diagnose bei periodisch arbeitenden Kraftmaschinen, mit einem Mikrophon zur Aufnahme der Geräusche der Kraftmaschine, einem Verzögerungsglied und mit einer Vorrichtung zur Bildung der Kreuzkorrelationsfunktion, dadurch gekennzeichnet, daß ein Speicherglied (7) vorgesehen ist, das zumindest ein Fehlersignal enthält, daß das Speicherglied (7) von einem periodisch wiederkehrenden Signal der Kraftmaschine getriggert ist, daß das Fehlersignal einem veränderbaren Verzögerungsglied (9) zugeführt ist und daß das verzögerte Fehlersignal zusammen mit dem vom Mikrophon (1) aufgenommenen Geräusch einem Multiplizierer (3) und einem dem Multiplizierer (3) nachgeschalteten Mittelwertbildner (10) zugeleitet ist. 25 30 35

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Speichervorrichtung (7) von einer Abtriebswelle (4) der Kraftmaschine getriggert ist. 40

8. Vorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß dem Mittelwertbildner (10) ein Komparator (11) folgt, der beim Überschreiten eines Schwellwertes ein Signal abgibt. 45

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß beim Überschreiten des Schwellwertes die Verzögerungszeit angezeigt ist.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen

50

55

60

65

Translation of DE 31 12 122 C2

Patentees: Robert Bosch GmbH

Title: Method and apparatus for vehicle diagnosis

Description

State of the art

The invention is based on a method as set forth in the classifying portion of the main claim.

The reference book 'Werkstoffprüfung mit Ultraschall', Krautkrämer J + H, pages 287-288, Springer-Verlag, 1980, and the publication 'Identification of acoustic emission source mechanisms by energy spectrum', B Woodward, Ultrasonics, Nov 1976, pages 249-255, each disclose material testing methods which use the spontaneous emission of sound signals from the materials to be tested. The amplitude and/or the frequency spectra are investigated in respect of particularities which allow conclusions to be drawn about possible flaws.

DE-OS No 26 09 152 discloses a method of discovering looming fatigue damage in a metal component which in use is exposed to cyclically repeated fatigue loadings. The metal component to be investigated is subjected to a test in which it is exposed to a loading which is at least equal to the operational loading of the component. The acoustic emissions during the test are ascertained and compared to the emissions which the component when installed again produces during operation. The loading test on the component when removed from its position of installation is repeated at predeterminable time intervals in order to provide reference values which are always up-to-date.

The publication 'Application of correlation techniques for localisation of acoustic sources', I Grabec, Ultrasonics, May 1978, pages 110-115 describes a method of determining the location of sound waves in a material, which is based on measurement of correlation functions of the sound signals. That method is only suitable for emissions which are non-correlated in respect of time and which come from a locally restricted source in a large system without sound reflections.

Measurements on sound interference sources using the correlation procedure are also known from the reference book 'Korrelationselektronik', F H Lange, VEB-Verlag Technik, Berlin, 2nd edition, page 290 ff. Two microphones are used, one microphone being mounted to a sound source while a further microphone measures the sound in the space in question. In that way it is possible to determine the proportion of noise from a noise source, when there are a plurality of noise sources present. That method cannot be used for vehicle diagnosis as the aim is not to effect analysis of the noise analysis of the noise components, but the aim is only to filter out noise components which indicate risks. A correlation analysis with two measuring microphones is therefore not possible.

US No 4 007 630 discloses an apparatus for detecting damage on rotating components, which executes evaluation of the sound emissions from the rotating component. The described apparatus presupposes that the sound emission which is characteristic in respect of damage occurs only briefly one or more times during the revolution of the component. That apparatus is only suitable for detecting special flaws or defects, the short-term emission spectra of which are markedly above the basic spectrum of the rotating component, which is averaged over time.

The object of the invention is to provide a method and an apparatus for vehicle diagnosis, which without intervention in the internal combustion engine easily make it possible to detect the most widely varying defects. That object is attained by the characterising features of claim 1 and claim 6 respectively.

Advantages of the invention

The method according to the invention has the advantage that vehicle diagnosis in respect of faults can be implemented with the formation of cross-correlations of the noise of the internal combustion engine, which is recorded with a microphone, with a fault signal which is synchronised with the internal combustion engine and passed by way of a delay member, in which respect any number of fault signals can be stored for example in memories. The maintenance of internal combustion engines

is therefore particularly simple and can also be effected in on-going operation. Continuous monitoring is additionally also possible.

The features recited in the appendant claims can afford advantageous developments and improvements in the method recited in the main claim. By virtue of a ramp-shaped slow rise in the delay time it is possible to produce different correlation values which make it possible to detect phase-dependent faults. It is further advantageous for the period of the ramp function to be made very much greater than the periodic phenomenon of the engine. By virtue of that feature the delay time is virtually constant, in respect of a plurality of periodic phenomena of the engine, and permits reliable evaluation. The correlation function and/or the peak value of the correlation are advantageously displayed for evaluation purposes or can be used directly for intervention in the machine. In order to detect a plurality of fault possibilities, it is advantageous to store a multiplicity of fault signals in such a way that they can be called up.

For storage purposes it is advantageous to provide a memory device which contains at least one fault signal, wherein the memory device is triggered by periodically recurring signals from the engine. That makes it possible to provide a particularly simple apparatus for carrying out the method. Digital semiconductor memories are particularly suitable as the memory device. In particular marks on the drive output shaft of the engine are appropriate as the periodically recurring trigger signals. To form the correlation the interference noise which is stored by the trigger signal is delayed and correlated together with a noise recorded by the microphone by means of a multiplier and an averaging device. It is advantageous if the memory device is combined with the ramp-shaped delay. Evaluation of the correlation function is effected simply by a comparator which responds when a threshold value is exceeded. For the purposes of determining the phase it is advantageous for the value of the delay to be stored in a memory device when the threshold value is exceeded.

An embodiment of the invention is described in greater detail in the description hereinafter and illustrated in the drawing in which:

Figure 1 shows an embodiment of the invention, and

Figure 2 shows diagrams to illustrate the embodiment.

Figure 1 shows a microphone 1 which is mounted for example to the casing of an internal combustion engine. The noise spectrum recorded by the microphone 1 is amplified by an amplifier 2 and goes to an input of the multiplier 3. The internal combustion engine (not shown) has a crankshaft 4 on which for example a top dead center mark is provided. Arranged at the crankshaft 4 is a sender 5 which, when the mark passes it, delivers a signal which is amplified by an amplifier 6. The output of the amplifier 6 goes to the trigger input of a memory unit 7. A periodic function can be respectively called up from the memory unit 7 by means of a data line 8. The periodic function goes by way of the output of the memory unit 7 to a variable delay member 9 whose output is in turn connected to the multiplier 3. The output of the multiplier 3 goes to an averaging device 10, to the output of which is connected a comparator 11 which delivers a signal when a correlation signal exceeds a predetermined threshold value. The output signal is stored in a memory 14 and results for example in the lamp 15 being lit up. Further proceedings can be stopped by means of a control line from the memory member 14 to the memory member 7. The delay time acts by way of a ramp function from the ramp generator 12 on the delay member 9. When a signal occurs at the output of the comparator 11 it also goes to the ramp generator 12 and provides that the instantaneous voltage for controlling the delay member 9 is fixed. A display device 13 serves to display the delay time which is ascertained in that way.

If now for example a diagnosis is to be implemented about an internal combustion engine in a motor vehicle, the microphone 1 is fitted in the engine compartment of the motor vehicle. The signal amplified by the amplifier 2 forms the first input value for the multiplier 3. Fault functions are stored in the memory 7 which can be in the form of an analog memory or a digital memory. Digital memories are particularly advantageous because of the high memory density. The fault function is such that it respectively simulates a given problem on the engine and reproduces a characteristic problem pattern. Various fault functions can be selected by way of the data line 8 so that various precisely defined disturbance or fault

situations can be diagnosed. In order to permit a correlation it is necessary for the disturbance function stored in the memory member 7 to be synchronised with the periodic signal recorded by the microphone 1. That is effected by the crankshaft 4 of the internal combustion engine where for example the sender 5 is used to record the top dead center mark which is identified on the crankshaft. That signal is amplified with the amplifier 6 and serves to trigger the memory member 7. The disturbance function is delayed in respect of its phase by the delay member 9 and also passed to the multiplier 3.

Figure 2a shows by way of example a signal which is recorded by the microphone 1 and which is passed to the multiplier 3 while Figure 2b represents a period fault function which is stored in the memory member 7 and also passes with a delay to the multiplier 3. A value of the correlation function is produced after the averaging operation by the averaging device 10.

The essence of the correlation formation procedure is described in detail in the literature referred to in the opening part of this specification so that there is no need for it to be discussed in greater detail here. It should only be said that a correlation peak value corresponding to Figure 2d occurs at the output of the averaging device 10 when the fault function shown in Figure 2b is contained in the signal mix as shown in Figure 2a. If such a pulse occurs, the memory 14 is set by the comparator 11 and the lamp 15 indicates the fault. It is to be noted in that respect that the display is proportionally more reliable, the greater the number of periods involved. The value of the cross-correlation function at the output of the averaging device 10 gives the degree of statistical similarity between the synchronised synthetic signal from the memory member 7 and the periodic measurement signal from the microphone 1. Depending on the respective level of the threshold value which is established by the comparator 11 it is therefore possible to indicate faults even if the fault function is not exactly contained in the recorded signal. It is also advantageous in certain cases to alter the threshold value of the comparator 11 in dependence on the fault function which is set by the data line 8. Typical examples of use of this

circuit arrangement can be signalling play in the connecting rod bearings, play in the crankshaft bearings, play in the valve drive, uniformity of combustion in the cylinders, knocking, misfires, piston slap or similar problems in the engine.

As the fault-affected signals recorded by the microphone 1 can occur a plurality of times in each revolution of the engine and/or in different phase positions, it is desirable for the delay time to be variable. That is effected by a transit time which rises slowly in a ramp configuration. That transit time can be produced by means of a variable voltage produced by the ramp generator 12. Such a ramp voltage for controlling the delay member 9 is illustrated in Figure 2c. By virtue of the essence of correlation, it is necessary that the ramp rise in the transit time must involve a very much greater period duration than the engine to be investigated. If, when the cross-correlation peak occurs, the instantaneously applicable signal at the delay member 9 is frozen and is displayed at the same time by the display instrument 13, then on the basis of the phase angle it is possible to conclude the cylinder in which for example knocking occurs or where misfires were present.

The entire circuit arrangement can advantageously be carried into effect by means of microprocessors, in particular single-chip microprocessors with an integrated memory. In particular the computing operations and the memory functions are to be executed in the microprocessor. The diagnostic apparatus has the advantage that, apart from the synchronisation system and the microphone, no cables have to be taken to the motor vehicle or the engine to be investigated, so that the diagnostic operation can proceed very easily without further interventions in the engine. A fully automatic testing procedure is a possibility if after a certain time the next fault signal is automatically applied by way of the data line 8. Desirably that is effected when the ramp which predetermines the delay time for the delay member 9 drops.

CLAIMS

1. A method of diagnosis in relation to periodically operating engines, comprising a microphone for recording the noises of the engine, a delay

member and devices for forming the cross-correlation function, characterised in that a fault signal synchronised with the periodically operating engine is formed, that the fault signal is passed by way of a variable delay member (9) and the cross-correlation function is formed therefrom together with the signal recorded by the microphone (1).

2. A method according to claim 1 characterised in that the delay time rises in a ramp configuration.

3. A method according to claim 1 or claim 2 characterised in that the period of the ramp function is very much greater than the periodic process of the engine.

4. A method according to one of claims 1 to 3 characterised in that a correlation function and/or the occurrence of a correlation peak is displayed.

5. A method according to one of claims 1 to 4 characterised in that a multiplicity of fault signals are stored and can be called up.

6. Apparatus for diagnosis in relation to periodically operating engines, comprising a microphone for recording the noises of the engine, a delay member and a device for forming the cross-correlation function, characterised in that there is provided a memory member (7) which contains at least one fault signal, that the memory member (7) is triggered by a periodically recurring signal from the engine, that the fault signal is passed to a variable delay member (9) and that the delayed fault signal together with the noise recorded by the microphone (1) is passed to a multiplier (3) and an averaging device (10) connected on the output side of the multiplier (3).

7. Apparatus according to claim 6 characterised in that the memory device (7) is triggered by a drive output shaft (4) of the engine.

8. Apparatus according to claim 6 or claim 7 characterised in that the averaging device (10) is followed by a comparator (11) which delivers a signal when a threshold value is exceeded.

9. Apparatus according to claim 8 characterised in that the delay time is displayed when the threshold value is exceeded.

The diagram shows a control system with the following components and connections:

- 1**: A manual selector switch.
- 2**: A relay or logic element.
- 3**: A multiplier or logic element.
- 4**: A circular sensor or input.
- 5**: A rectangular sensor or input.
- 6**: A relay or logic element.
- 7**: A rectangular block representing a motor or actuator.
- 8**: A feedback signal from the motor.
- 9**: A block with a $\frac{1}{T}$ symbol, representing an integrator.
- 10**: A block with a \overline{U} symbol, representing an inverter or limit.
- 11**: A relay or logic element.
- 12**: A block with a sine wave symbol, representing an oscillator or reference signal.
- 13**: A variable gain or gain element.
- 14**: A rectangular block.
- 15**: A lamp or indicator.

The control logic is as follows:

- The manual selector switch (**1**) and the circular sensor (**4**) provide inputs to the relay **2**.
- The output of **2** goes to the multiplier **3**.
- The rectangular sensor (**5**) and the output of **3** provide inputs to the relay **6**.
- The output of **6** drives the motor **7**.
- The motor **7** provides a feedback signal **8** to the integrator **9**.
- The output of **9** goes to the multiplier **3**.
- The output of **3** also goes to the inverter **10**.
- The inverter **10** provides an input to the relay **11**.
- The relay **11** drives the motor **7**.
- The motor **7** also provides an input to the block **14**.
- The block **14** drives the lamp **15**.
- The block **14** also provides an input to the variable gain **13**.
- The variable gain **13** provides an input to the integrator **9**.
- The sine wave block **12** provides an input to the variable gain **13**.